

## DAFTAR ISI

|                                         |              |
|-----------------------------------------|--------------|
| <b>HALAMAN JUDUL.....</b>               | <b>i</b>     |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>         | <b>ii</b>    |
| <b>HALAMAN PERNYATAAN.....</b>          | <b>iii</b>   |
| <b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR .....</b>    | <b>iv</b>    |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>             | <b>v</b>     |
| <b>DAFTAR ISI .....</b>                 | <b>vii</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL .....</b>               | <b>x</b>     |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>              | <b>xi</b>    |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN.....</b>             | <b>xv</b>    |
| <b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN.....</b> | <b>xvi</b>   |
| <b>INTISARI.....</b>                    | <b>xviii</b> |

### **BAB I      PENDAHULUAN**

|                                            |   |
|--------------------------------------------|---|
| 1.1 Latar Belakang.....                    | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah.....                 | 3 |
| 1.3 Batasan Masalah .....                  | 3 |
| 1.4 Tujuan Penelitian.....                 | 4 |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                | 4 |
| 1.6 Metode Penyusunan Tugas Akhir.....     | 5 |
| 1.7 Sistematika Penulisan Tugas Akhir..... | 5 |

### **BAB II      TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI**

|                                              |    |
|----------------------------------------------|----|
| 2.1 Tinjauan Pustaka.....                    | 6  |
| 2.2 Dasar Teori.....                         | 10 |
| 2.2.1 Bahan bakar padat.....                 | 10 |
| 2.2.2 Pengujian sifat bahan bakar padat..... | 11 |
| 2.2.3 Pirolisis.....                         | 11 |
| 2.2.4 Pembriketan arang.....                 | 12 |

|                |                                                                                                                                  |    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|                | 2.2.5 Pembakaran briket.....                                                                                                     | 13 |
|                | 2.2.6 <i>Thermogravimetric Analysis</i> (TGA).....                                                                               | 21 |
|                | 2.2.7 Energi aktivasi.....                                                                                                       | 24 |
| <b>BAB III</b> | <b>METODOLOGI PENELITIAN</b>                                                                                                     |    |
|                | 3.1 Prosedur Penelitian.....                                                                                                     | 29 |
|                | 3.2 Bahan Penelitian.....                                                                                                        | 30 |
|                | 3.3 Penghancuran Sampah.....                                                                                                     | 30 |
|                | 3.4 Penimbangan Sampel.....                                                                                                      | 31 |
|                | 3.5 Peralatan Pirolisis dan Pembakaran.....                                                                                      | 31 |
|                | 3.5 Pirolisis.....                                                                                                               | 34 |
|                | 3.6 Pembriketan Arang.....                                                                                                       | 36 |
|                | 3.7 Uji Pembakaran Briket.....                                                                                                   | 36 |
|                | 3.8 Hambatan-Hambatan Dalam Penelitian.....                                                                                      | 39 |
| <b>BAB IV</b>  | <b>HASIL DAN PEMBAHASAN</b>                                                                                                      |    |
|                | 4.1 Pendahuluan Tentang Karakteristik Pembakaran Bahan Bakar Padat.....                                                          | 41 |
|                | 4.2 Karakteristik Pembakaran Briket Tar dengan Variasi Persentase Binder.....                                                    | 43 |
|                | 4.2.1 Tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> .....                                                                           | 43 |
|                | 4.2.2 Tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> .....                                                                           | 48 |
|                | 4.2.3 Tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> .....                                                                           | 52 |
|                | 4.3 Pengaruh Variasi Persentase Binder.....                                                                                      | 56 |
|                | 4.3.1 Karakteristik pembakaran briket tar untuk tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 56 |
|                | 4.3.2 Karakteristik pembakaran briket tar untuk tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 58 |
|                | 4.3.3 Karakteristik pembakaran briket tar untuk tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 60 |

|                                                                                                                       |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.4 Pengaruh Variasi Jenis Binder.....                                                                                | 62         |
| 4.4.1 Karakteristik pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder... | 62         |
| 4.4.2 Karakteristik pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder... | 67         |
| 4.4.3 Karakteristik pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder... | 73         |
| 4.4.4 Karakteristik pembakaran briket untuk persentase binder 10 % dengan variasi jenis binder.....                   | 78         |
| 4.4.5 Karakteristik pembakaran briket untuk persentase binder 15 % dengan variasi jenis binder.....                   | 83         |
| 4.4.6 Karakteristik pembakaran briket untuk persentase binder 20 % dengan variasi jenis binder.....                   | 89         |
| 4.5 Karakteristik Pembakaran Briket.....                                                                              | 94         |
| 4.5.1 Temperatur pembakaran briket.....                                                                               | 94         |
| 4.5.2 Waktu penyalaan briket.....                                                                                     | 95         |
| 4.5.3 Laju penurunan massa rata-rata.....                                                                             | 96         |
| 4.5.4 Energi aktivasi.....                                                                                            | 98         |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>                                                                                     |            |
| 5.1. Kesimpulan.....                                                                                                  | 101        |
| 5.2. Saran.....                                                                                                       | 101        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                                                                                           | <b>103</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                                                                                                  | <b>105</b> |

## DAFTAR TABEL

|           |                                                                                                                  |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2.1 | Komposisi bahan briket batubara.....                                                                             | 7  |
| Tabel 2.2 | Harga $k_{0,pyr}$ dan $E_{pyr}$ untuk beberapa bahan.....                                                        | 17 |
| Tabel 2.3 | Konstanta laju oksidasi <i>char</i> batubara.....                                                                | 20 |
| Tabel 2.4 | <i>Ignition delay</i> dan waktu <i>burnout</i> untuk beberapa ukuran partikel.....                               | 21 |
| Tabel 4.1 | Karakteristik pembakaran briket tar 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                 | 45 |
| Tabel 4.2 | Karakteristik kinetika reaksi pembakaran briket tar 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 47 |
| Tabel 4.3 | Karakteristik pembakaran briket tar 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                 | 50 |
| Tabel 4.4 | Karakteristik kinetika reaksi pembakaran briket tar 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 51 |
| Tabel 4.5 | Karakteristik pembakaran briket tar 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                 | 54 |
| Tabel 4.6 | Karakteristik kinetika reaksi pembakaran briket tar 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 55 |

## DAFTAR GAMBAR

|            |                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 2.1 | Perbedaan produk yang dihasilkan dari pirolisis, gasifikasi, dan insinerasi.....                                                                                                                                                  | 12 |
| Gambar 2.2 | Grafik profil pembakaran untuk batubara <i>bituminous</i> (Othman dan Shamsuddin, 2003).....                                                                                                                                      | 14 |
| Gambar 2.3 | Penampang melintang pembakaran bahan bakar bentuk batang (Borman dan Ragland, 1998).....                                                                                                                                          | 16 |
| Gambar 2.4 | Skema <i>thermobalance</i> .....                                                                                                                                                                                                  | 22 |
| Gambar 2.5 | Profil grafik pembakaran : (a) grafik penurunan massa, (b) grafik laju penurunan massa, (c) grafik temperatur (Khawam dan Flanagan, 2006).....                                                                                    | 22 |
| Gambar 2.6 | (a) grafik TGA dan (b) keambiguan dalam penentuan $T_{onset}$ (Practice Guide Section TGA).....                                                                                                                                   | 23 |
| Gambar 2.7 | Keambiguan dalam TGA a) grafik yang berbalik pada absis (b) kenaikan temperatur secara tajam akibat pembakaran (Practice Guide Section TGA).....                                                                                  | 24 |
| Gambar 2.8 | Hasil prediksi dan eksperimen dari (a) serbuk gergaji, (b) sekam padi, dan (c) serbuk bambu (Kalita et al, 2009).....                                                                                                             | 26 |
| Gambar 3.1 | Prosedur penelitian.....                                                                                                                                                                                                          | 29 |
| Gambar 3.2 | Bahan penelitian : (a) Daun pisang, (b) Bambu, (c) Plastik kemasan, (d) <i>Styrofoam</i> .....                                                                                                                                    | 30 |
| Gambar 3.3 | Skema instalasi peralatan pirolisis.....                                                                                                                                                                                          | 35 |
| Gambar 3.4 | Skema instalasi peralatan uji pembakaran.....                                                                                                                                                                                     | 37 |
| Gambar 4.1 | Tahapan proses pembakaran bahan bakar padat.....                                                                                                                                                                                  | 41 |
| Gambar 4.2 | Profil persentase penurunan massa (%), laju penurunan massa (mg/s), serta kenaikan temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) sebagai fungsi waktu pada pembakaran briket tar 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 43 |

|             |                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.3  | Prediksi persentase kandungan air, <i>volatile matter</i> , <i>fixed carbon</i> , dan abu dari briket tar 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                          | 46 |
| Gambar 4.4  | Profil <i>slope</i> energi aktivasi pembakaran briket tar 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                                                                          | 47 |
| Gambar 4.5  | Profil persentase penurunan massa (%), laju penurunan massa (mg/s), serta kenaikan temperatur (°C) sebagai fungsi waktu pada pembakaran briket tar 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 48 |
| Gambar 4.6  | Prediksi persentase kandungan air, <i>volatile matter</i> , <i>fixed carbon</i> , dan abu dari briket tar 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                          | 50 |
| Gambar 4.7  | Profil <i>slope</i> energi aktivasi pembakaran briket tar 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                                                                          | 51 |
| Gambar 4.8  | Profil persentase penurunan massa (%), laju penurunan massa (mg/s), serta kenaikan temperatur (°C) sebagai fungsi waktu pada pembakaran briket tar 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder..... | 52 |
| Gambar 4.9  | Prediksi persentase kandungan air, <i>volatile matter</i> , <i>fixed carbon</i> , dan abu dari briket tar 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                          | 54 |
| Gambar 4.10 | Profil <i>slope</i> energi aktivasi pembakaran briket 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder.....                                                                                              | 55 |
| Gambar 4.11 | Karakteristik pembakaran briket tar untuk binder tar tekanan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder .....                                                                                      | 56 |
| Gambar 4.12 | Karakteristik pembakaran briket tar untuk binder tar tekanan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder .....                                                                                      | 58 |

|             |                                                                                                                            |    |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gambar 4.13 | Karakteristik pembakaran briket tar untuk binder tar tekanan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi persentase binder ..... | 60 |
| Gambar 4.14 | Temperatur pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....             | 62 |
| Gambar 4.15 | Penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....                   | 64 |
| Gambar 4.16 | Laju penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 200 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....              | 66 |
| Gambar 4.17 | Temperatur pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....             | 68 |
| Gambar 4.18 | Penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....                   | 69 |
| Gambar 4.19 | Laju penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 250 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....              | 71 |
| Gambar 4.20 | Temperatur pembakaran briket untuk tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....             | 73 |
| Gambar 4.21 | Penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....                   | 75 |
| Gambar 4.22 | Laju Penurunan massa briket untuk tekanan pengepresan 300 kg/cm <sup>2</sup> dengan variasi jenis binder.....              | 77 |
| Gambar 4.23 | Temperatur pembakaran briket untuk binder 10 % dengan variasi jenis binder.....                                            | 79 |
| Gambar 4.24 | Penurunan massa briket binder 10 % dengan variasi jenis binder.....                                                        | 80 |
| Gambar 4.25 | Laju penurunan massa briket untuk binder 10 % dengan variasi jenis binder.....                                             | 82 |
| Gambar 4.26 | Temperatur pembakaran briket untuk binder 15 % dengan variasi jenis binder.....                                            | 84 |
| Gambar 4.27 | Penurunan massa briket binder 15 % dengan variasi jenis binder.....                                                        | 86 |

|             |                                                                                                               |     |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Gambar 4.28 | Laju penurunan massa briket untuk binder 15 % dengan variasi jenis binder.....                                | 87  |
| Gambar 4.29 | Temperatur pembakaran briket untuk binder 20 % dengan variasi jenis binder.....                               | 89  |
| Gambar 4.30 | Penurunan massa briket binder 20 % dengan variasi jenis binder.....                                           | 91  |
| Gambar 4.31 | Laju penurunan massa briket untuk binder 20 % dengan variasi jenis binder.....                                | 93  |
| Gambar 4.32 | Temperatur pembakaran briket untuk binder kanji, tar, dan paduan kanji dan tar.....                           | 94  |
| Gambar 4.33 | Waktu penyalaan briket untuk binder kanji, tar, dan paduan kanji dan tar.....                                 | 96  |
| Gambar 4.34 | Laju penurunan massa rata-rata briket untuk binder kanji, tar, dan paduan kanji dan tar.....                  | 97  |
| Gambar 4.35 | Energi aktivasi briket untuk binder kanji, tar, dan paduan kanji dan tar berdasarkan persentase perekat.....  | 98  |
| Gambar 4.36 | Energi aktivasi briket untuk binder kanji, tar, dan paduan kanji dan tar berdasarkan tekanan pengepresan..... | 100 |

## DAFTAR LAMPIRAN

|            |                                                                            |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Lampiran A | Karakteristik Fisik Briket.....                                            | 106 |
| Lampiran B | Karakteristik Pembakaran Briket.....                                       | 107 |
| Lampiran C | Karakteristik Kinetika Reaksi Pembakaran Briket.....                       | 109 |
| Lampiran D | Perkiraan Kadar Air, Volatile Matter, Karbon, dan Abu.....                 | 110 |
| Lampiran E | Data Pengujian Pembakaran Briket Tar 10 %, 200 kg/cm <sup>2</sup><br>..... | 111 |
| Lampiran F | Olah Data Pembakaran Briket Tar 10 %, 200 kg/cm <sup>2</sup> .....         | 112 |
| Lampiran G | Peralatan Yang Digunakan Pada Penelitian.....                              | 115 |

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

|             |                                                                                                |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\epsilon$  | : Emissivitas ( $\text{kW/m}^3$ )                                                              |
| $\emptyset$ | : Faktor koreksi transfer massa                                                                |
| $a$         | : Waktu pembakaran (menit)                                                                     |
| $A$         | : Koefisien pra-eksponensial ( $\text{menit}^{-1}$ )                                           |
| $A_p$       | : Luas permukaan partikel                                                                      |
| ASTM        | : <i>American Society for Testing and Materials</i>                                            |
| BT          | : <i>Burning out Temperature</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )                                        |
| $c_i$       | : Fraksi massa dari tiap komponen                                                              |
| $D_{AB}$    | : <i>Binary diffusion coefficient</i> ( $\text{m}^2/\text{s} = 10,764 \text{ ft}^2/\text{s}$ ) |
| $df$        | : Indeks bahan bakar kering                                                                    |
| DTG         | : <i>Derivative Thermogravimetry</i>                                                           |
| $E$         | : Energi aktivasi ( $\text{kJ/mol}$ )                                                          |
| FC          | : <i>Fixed carbon</i>                                                                          |
| $\bar{h}_D$ | : Koefisien transfer massa                                                                     |
| $i$         | : Rasio stoikiometri mol karbon                                                                |
| ITFC        | : <i>Initiation Temperature of Fixed Carbon</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )                         |
| ITVM        | : <i>Initiation Temperature of Volatile Matter</i> ( $^{\circ}\text{C}$ )                      |
| $k$         | : Konstanta kecepatan reaksi                                                                   |
| $k_c$       | : Konstanta laju kinetik                                                                       |
| $k_e$       | : Konstanta laju reaksi efektif                                                                |
| $m_0$       | : Massa awal briket (g)                                                                        |
| $m_a$       | : Massa abu (g)                                                                                |
| $Mc$        | : Mol karbon                                                                                   |
| $m_c$       | : Massa <i>char</i> (g)                                                                        |
| $Mo_2$      | : Mol oksigen                                                                                  |
| $m_p$       | : Massa partikel kering (g)                                                                    |
| MSW         | : <i>Municipal Solid Waste</i>                                                                 |

|                  |                                                    |
|------------------|----------------------------------------------------|
| $m_t$            | : Massa briket pada t detik (g)                    |
| $m_v$            | : Massa volatil (g)                                |
| $m_{w,i}$        | : Massa air awal (g)                               |
| $n$              | : Orde reaksi                                      |
| $\rho_{O_2}$ (s) | : Densitas parsial oksigen pada permukaan partikel |
| PT               | : <i>Peak of weight loss Temperature</i>           |
| PVA              | : <i>Polyvinyl alcohol</i>                         |
| Q                | : Kode sampel briket batubara                      |
| R                | : Konstanta gas universal (kJ/mol.K)               |
| Re               | : <i>Reynolds number</i>                           |
| SBM              | : Setara Barel Minyak                              |
| Sc               | : <i>Schmidt number</i>                            |
| Sh               | : <i>Sherwood number</i>                           |
| SNI              | : Standar Nasional Indonesia                       |
| t                | : Waktu (menit)                                    |
| T                | : Temperatur absolut (K)                           |
| $T_b$            | : Temperatur <i>furnace</i> (°C)                   |
| TGA              | : <i>Thermogravimetry Analysis</i>                 |
| $T_p$            | : Temperatur partikel (°C)                         |
| TPA              | : Tempat Pembuangan Akhir                          |
| VM               | : <i>Volatile matter</i>                           |
| X                | : Berat dari sampel yang bereaksi (kg)             |